

Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica

Apellidos, nombre	Ibáñez Asensio, Sara (sibanez@prv.upv.es) Moreno Ramón, Héctor (hecmora@prv.upv.es) Gisbert Blanquer, Juan Manuel (jgisbert@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



1 Resumen

En el presente artículo vamos a exponer los métodos más utilizados para calcular el tiempo de concentración de una cuenca hidrográfica (tc) de pequeño tamaño.

El tiempo de concentración es una de las variables más importantes a determinar en la planificación de usos del suelo y en la conservación de suelos y aguas o gestión de recursos hídricos. Si nuestro objetivo es evitar la degradación del terreno por procesos de erosión hídrica, posibilitar la implantación de un cultivo nuevo o cambiar el sistema de riego, ¿no es lógico querer saber cuál es la previsión de lluvias en la zona a un plazo de tiempo dado? Para poder responder a esta pregunta de forma satisfactoria es necesario que primero resolvamos una cuestión característica de nuestra cuenca de trabajo: su tiempo de concentración.

2 Objetivos

Con el presente artículo docente se pretende que el lector sea capaz de:

- Entender el concepto de tiempo de concentración.
- Calcular el tiempo de concentración característico de una cuenca dada
- Diferenciar las ventajas y deficiencias de cada uno de los posibles métodos de cálculo del tiempo de concentración

3 Estructura e introducción

El presente artículo docente se estructura en los siguientes puntos:

1. Resumen de ideas clave
2. Objetivos
3. Estructura e introducción
4. Desarrollo
   4.1. Concepto de tiempo de concentración
   4.2. Métodos de estima del tiempo de concentración
5. Cierre
6. Bibliografía

Si seguimos todos estos apartados descritos al final tendremos una idea clara del concepto de tiempo de concentración y sus métodos de cálculo consiguiendo por tanto, superar los objetivos propuestos. No obstante y para poder llegar a entender con claridad todo lo expuesto en este artículo antes deberemos saber qué es una cuenca hidrográfica, cuáles son sus componentes y cuál es su funcionamiento, siendo capaces de dibujarla a partir de las curvas de nivel de un mapa topográfico o por fotointerpretación de fotografía aéreas mediante el uso de un estereoscopio adecuado a la escala de los fotogramas.



Todos estos aspectos son abordados en profundidad en otros documentos disponibles para el alumno en el repositorio institucional de la UPV de objetos de aprendizaje (Riunet). Si el lector no dominara alguno de estos aspectos deberá acudir previamente a éstas ayudas o acudir a algún texto específico sobre el tema.

4 Desarrollo

4.1 Concepto de tiempo de concentración (tc)

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, al tiempo que máximo; el punto hidrológicamente más alejado es aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida.

Para entender bien el concepto de tiempo de concentración pensemos un poco en el siguiente ejemplo (figura 1): en un instante dado comienza a llover de forma uniforme y constante sobre un canal de riego; inmediatamente comenzará a circular agua hacia el punto de salida del canal (pto. B), pero en el instante inicial (to), únicamente saldrá del canal el agua que cae directamente sobre el punto de salida o en sus inmediaciones, puesto que el agua precipitada en la parte alta del canal tardará cierto tiempo en recorrer la distancia que separa los puntos A y B.

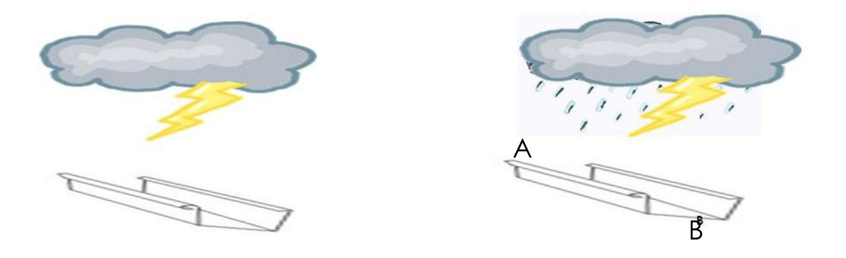


Figura nº 1.- Ejemplo: lluvia sobre un canal

Lógicamente, si la lluvia se mantiene con la misma intensidad desde el inicio de la tormenta hasta el final, el caudal de agua que irá saliendo por el punto B irá aumentando a partir del momento inicial hasta alcanzar un valor máximo, y a partir de ese momento se mantendrá constante hasta que cese la precipitación:

- pasado el instante inicial, los puntos intermedios del canal irán aportando agua a la salida → el caudal de la escorrentía, Q, irá creciendo
- cuando el agua procedente del punto A llegue a B, toda la superficie del canal estará aportando agua → Q será máximo y ya no aumentará mientras la intensidad de la lluvia permanezca constante.



Si ocurre que la tormenta precipita sobre todo el canal a intensidad X constante durante un total de 8 horas, y el tiempo que emplea la escorrentía en recorrer la distancia que separa los puntos A y B es de 4 horas, representando la intensidad de la lluvia frente al tiempo construiremos el hietograma de la tormenta (figura 2a) y representando Q frente al tiempo construiremos su correspondiente hidrograma (figura 2 b):

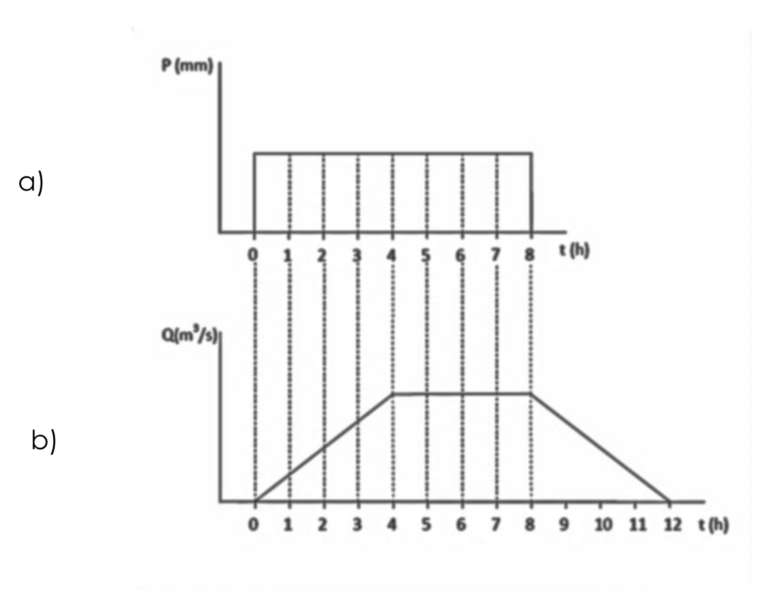


Figura nº 1.- Ejemplo: lluvia sobre un canal

En una cuenca hidrográfica el comportamiento del hidrograma será similar, sólo que en este caso parte del agua se infiltraría en el suelo y la escorrentía comenzaría tras la saturación del suelo: **para una lluvia de intensidad constante el caudal en la salida irá aumentando a medida que vaya llegando el agua de escorrentía procedente de puntos hidrológicamente cada vez más alejados, manteniéndose constante a partir del momento en el que el punto más alejado ya esté aportando agua a la salida;** el tiempo que transcurre desde el inicio de la escorrentía hasta que el punto más alejado hidrológicamente aporta agua al punto de salida es lo que denominamos tiempo de concentración.

En el ejemplo de la figura 3 aparece el trazado de las superficies comprendidas entre isocronas correspondientes a la llegada del agua de escorrentía al punto de cierre de una cuenca en la que el tiempo máximo empleado por el agua de escorrentía para llegar a la salida es de 6 horas.

La zona queda dividida en 6 sectores:

- transcurrida la 1° hora desde el inicio de la escorrentía, únicamente el sector en amarillo (el más próximo al punto de desagüe) está aportando agua en el punto de control.

- transcurridas 2 horas desde el inicio de la escorrentía, únicamente los sectores amarillo y naranja están aportando agua en el punto de control.

- transcurridas 3 horas desde el inicio de la escorrentía, los sectores amarillo, naranja y rosa están aportando agua en el punto de control.



- transcurridas 4 horas desde el inicio de la escorrentía, aportarán agua los sectores amarillo, naranja, rosa y verde en el punto de control.

- transcurridas 5 horas desde el inicio de la escorrentía, los sectores amarillo, naranja, rosa y violeta están aportando agua en el punto de control.

- transcurridas 6 horas desde el inicio de la escorrentía, toda la cuenca (sectores amarillo, naranja, rosa, verde, violeta y azul) están aportando agua en el punto de control o desagüe.

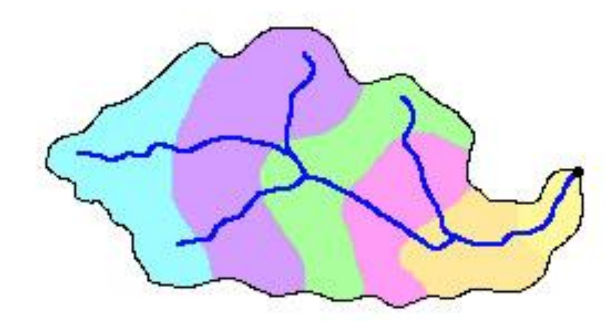
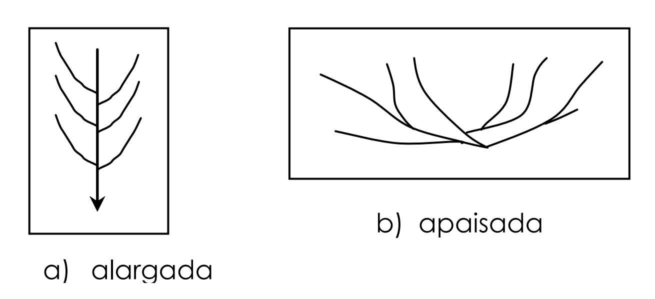


Figura nº 3.- Las líneas isocrononas separan las zonas de diferentes colores

El tiempo de concentración, o tiempo mínimo necesario para que toda la cuenca esté aportando agua al punto de salida, es un parámetro característico de cada cuenca y depende de los siguientes factores:

- del tamaño de la cuenca: a mayor tamaño mayor tc
- de la topografía: a mayor accidentalidad o pendiente, menor tc
- la forma: a igualdad de otros factores, las cuencas alargadas (figura 4a) presentan menores tc que las cuencas apaisadas (figura 3b) o redondeadas.



b) apaisada

a) alargada

Figura nº 4.- Influencia de la forma de la cuenca en el tc

4.2 Métodos de estima

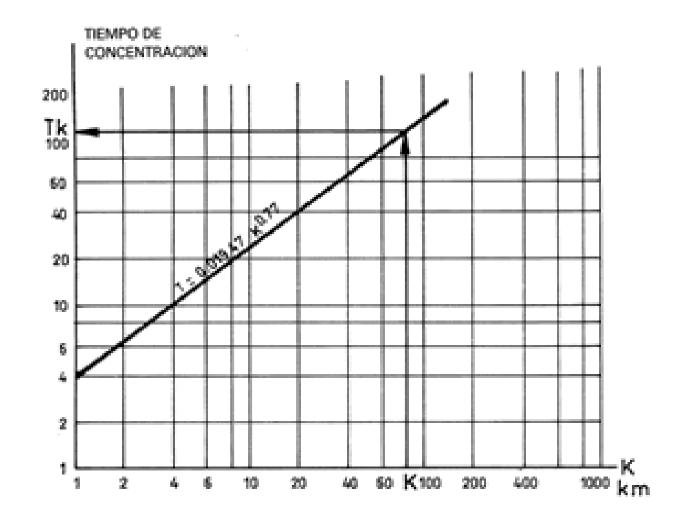
La determinación del tiempo de concentración se realiza con ayuda de tablas o ecuaciones emprpíricas, siendo las más utilizadas, en cuanto a tablas, las de Agres, la del USDA y la de Comack; en cuanto a las ecuaciones, destacan las de Bransby-Williams, Ventura-Heras, Giandotti, Kirpich, Passinni y la Dirección General de Carreteras (España). Su formulación se presenta en las siguientes figuras:



4.2.1 Agres

Área		Tiempo de concentración (minutos)
Acres	**Hectáreas**	
1	0,4	1,4
5	2,0	3,5
10	4,0	4,0
100	40,5	17,0
500	202,5	41,0
1000	405,0	75,0

4.2.2 Soil Conservation Service (USDA)



Ábaco de escala logarítimica

Para cuencas menores de 1250 ha.

T_K= tiempo concentración (minutos)
K (en Km)= 3,3 L √S

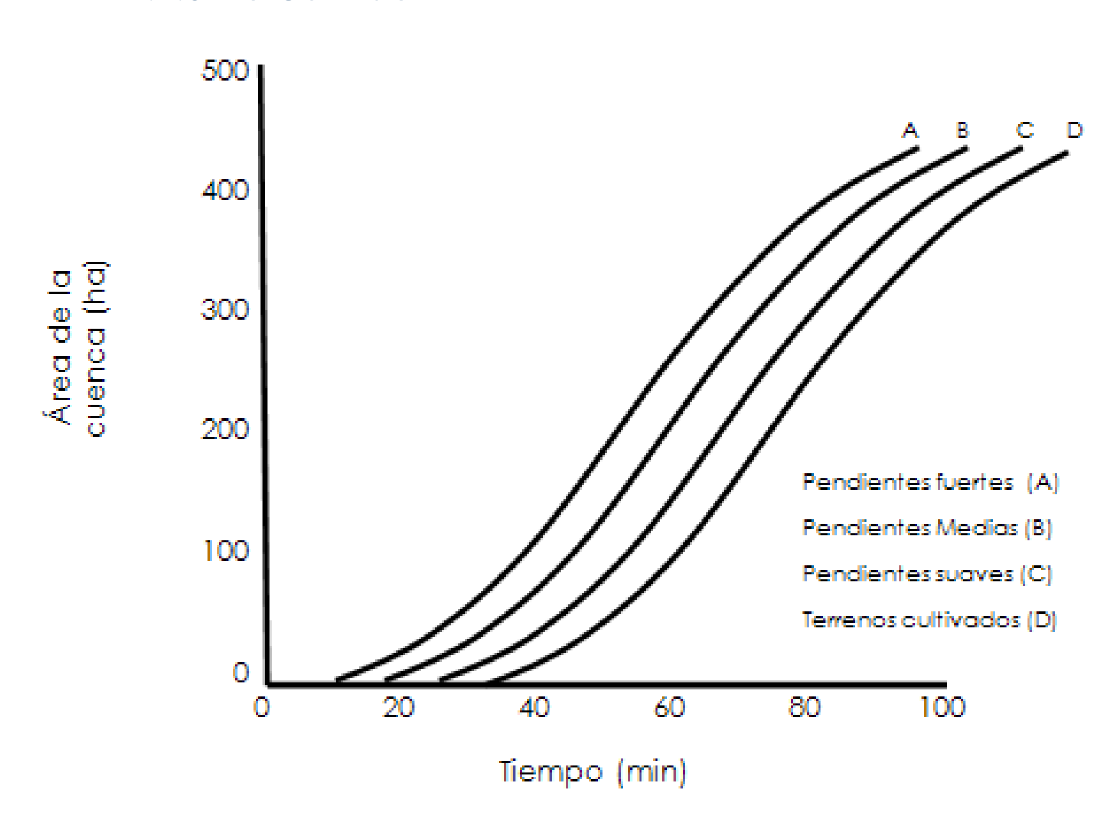
L= longitud del recorrido del agua desde el punto hidrológicamente más alejado (m)

S= H / L = pendiente media del recorrido (m m^{-1})

H= diferencia de altitudes entre cotas extremas (m)



4.2.3 De Cormack



4.2.4 Bransby-Williams

$$T = \frac{L}{1{,}5\,D}\sqrt[5]{\frac{M^2}{F}}$$

Dónde: -

T= tiempo de concentración (horas)

L= distancia máxima a la salida (km)

D= diámetro del círculo de área equivalente a la superficie de la cuenca (km^2)

M= área de la cuenca (km^2)

F= pendiente media del cauce principal (%)



4.2.5 Kirpich

$$T = 0{,}02L^{0{,}77}S^{-0{,}385}$$

Dónde:

T= tiempo de concentración (minutos)

L= longitud máxima a la salida (m)

S= pendiente media del lecho (m/m)

4.2.6 Ventura-Heras

$$t_c = a\frac{S^{0{,}5}}{i}$$ siendo 0,05≤ a ≤0,5

Dónde:

tc= tiempo de concentración (horas)

i= pendiente media del cauce principal (%)

S= área de la cuenca (km^2)

L= longitud del cauce principal (km)

a= alejamiento medio $a = L/\sqrt{S}$

4.2.7 Passini

$$t_c = a\frac{(SL)^{1/3}}{i^{0{,}5}}$$ siendo 0,04≤ a ≤0,13

Dónde: -

tc= tiempo de concentración (horas)

i= pendiente media del cauce principal (%)

S= área de la cuenca (km^2)

L= longitud del cauce principal (km)

a= alejamiento medio $a = L/\sqrt{S}$

4.2.8 Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{S}+1{,}5L}{0{,}8\sqrt{H}}$$ siempre que L/3.600 ≥ tc ≥ (L/3.600 +1,5)

Dónde: -

tc= tiempo de concentración (horas)

S= área de la cuenca (km^2)

L= longitud del cauce principal (km)

i= elevación media de la cuenca o diferencia de nivel principal (m)



4.2.9 Dirección General de Carreteras

$$t_c = 0{,}3\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0{,}76}$$

Dónde: -

tc= tiempo de concentración (horas)

J= pendiente media del cauce principal (H/L)
H= diferencia de nivel entre el punto de desagüe y el punto hidrológicamente más alejado (m)
L= longitud del cauce principal (km)

5 Cierre

El cálculo del tiempo de concentración de una cuenca hidrográfico es uno de los aspectos básicos a determinar a la hora de gestionar los recursos agua y suelo, ya sea para su mejor aprovechamiento como para mejorar su manejo y conservación.

Su cálculo se realiza mediante la aplicación de algunos de las gráficas o ecuaciones determinadas empíricamente a partir de la toma de datos en campo, la mayoría de las veces en climas y situaciones topográficas diferentes a las condiciones mediterráneas de nuestro entorno. Únicamente el método de la Dirección General de Carreteras está específicamente desarrollado para nuestras características ambientales particulares.

Date cuenta de que las variables que intervienen en todos los métodos son exclusivamente de tipo topográfico, destacando la importancia de la inclinación y longitud del cauce principal. En ningún caso se consideran las características topográficas de las laderas vertientes.

6 Bibliografía

6.1 Bibliografía

[1] Hudson, N., 1982. "Conservación de suelo" Reverte, 335 pp.

[2] López Cadenas de Llano, F. (Coord.), 1994. "Restauración hidrológico-forestal de cuencas" Mundi Prensa –Tragsa, 902 pp..

[3] López Cadenas de Llano, F. (Coord.). 2003. "La Ingeniería en los procesos de desertificación" Grupo Tragsa, 1045 pp.

[4] Schwab, G.O. - Frevert, R.K. - Edminster, T.W.. "Ingeniería de conservación de suelos y aguas", Ed. Limusa, 570 pp.